

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Možnosti optimalizace fotovoltaických elektráren
v podmínkách České republiky**

**Possibilities of optimization of photovoltaic power
plants in the Czech Republic**

2012

Jan Lazecký

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Lazecký**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Možnosti optimalizace fotovoltaických elektráren v podmínkách České republiky
Possibilities of optimization of photovoltaic power plants in the Czech Republic

Zásady pro vypracování:

1. Popis solárního záření.
2. Teorie výroby elektrické energie ve fotovoltaických panelech.
3. Druhy fotovoltaických panelů.
4. Vybrané vlivy ovlivňující výrobu elektrické energie z fotovoltaických panelů.
5. Ekonomické posouzení FVE.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K., Snížení energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, 2010
- [2] Sokanský, K., Studie využitelnosti fotovoltaických článků – rozbor parametrů fotovoltaických článků (elektráren) z hlediska účinnosti výroby elektrické energie
- [3] Macháčková, E., Ekonomická studie FVE o výkonu 3 MWp

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

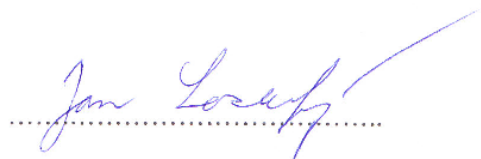



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 4. 5. 2012



.....

Pokládám za milou povinnost poděkovat panu prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. z katedry elektroenergetiky VŠB – TU Ostrava, za velmi dobré vedení a podnětné rady při tvorbě své bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá základními principy fungování a možnostmi optimalizace fotovoltaických elektráren, provozovaných v České republice. Úvod této práce je věnován obecným a teoretickým informacím, týkajících se samotného světla, které je nezbytnou součástí fungování fotovoltaiky. Po teoretickém rozboru světla dochází v této práci k popsání výrobního procesu fotovoltaických panelů na bázi křemíku, které jsou momentálně nejvyužívanějším typem na trhu. Následuje část, ve které je prováděno srovnávání jednotlivých vlastností u všech generací panelů, které jsou momentálně vyráběny a používány. Důležitou částí této práce je kapitola, zabývající se vybranými vlivy, které mají negativní účinky na výkonnost jednotlivých článků. Tyto případné poklesy výkonů pak totiž způsobují snížení účinnosti výroby celé fotovoltaické elektrárny. Závěrečná část této práce řeší ekonomické posouzení výstavby a provozu fotovoltaické elektrárny. V této kapitole je také zahrnut přehled změn ve výkupních cenách a zelených bonusech, dle roku uvedení elektrárny do provozu.

Klíčová slova

Obnovitelný zdroj energie, fotovoltaický článek, string, zelený bonus

Abstract

This thesis deals with the basic principles of operation and the possibilities of the optimization of photovoltaic power plants operating in the Czech Republic. I will explain general and theoretical information concerning the light itself, which is an essential part of how photovoltaics works. After a theoretical analysis of light, I will describe the manufacturing process of photovoltaic modules based on silicon, which are currently the most used type in the market. In the next section, I will discuss the individual properties and compare all generations of panels that are currently produced and used. An important part of this work is the chapter dealing with selected factors that have negative effects on the performance of individual cells. Also discussed in the chapter is the potential drop in performance due to the reduction in the efficiency of the entire photovoltaic plant. The final part of this work addresses the economic assessment of the construction and operation of photovoltaic power plants. This chapter also includes an overview of changes in purchase prices and environmental bonuses, based on the year in which the plant began operation.

Key words

Renewable energy source, photovoltaic fuel cell, string, green bonus

Seznam použitých symbolů a zkratek

EU	Evropská unie
CO ₂	oxid uhličitý
Cu	měď
In	indium
Ga	gallium
S	síra
Se	selen
SiO ₂	oxid křemičitý
tzv.	takzvaně
hod.	hodina
MJ/m ²	megajoule na metr čtvereční
W	watt
kWh	kilowatt hodina
kWh/m ²	kilowatt hodina na metr čtvereční
ppb	parts per billion (částic na miliardu)
ppm	parts per million (částic na milion)

Poznámka:

Ostatní symboly a zkratky se v textu vyskytují s okamžitým vysvětlením.

Obsah

ÚVOD.....	2
1. POPIS SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ	3
1.1. VNÍMÁNÍ SVĚTLA	3
1.2. FYZIKÁLNÍ PODSTATA SVĚTLA	5
1.3. FOTOELEKTRICKÝ JEV	6
1.4. SLUNCE	6
2. TEORIE VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE VE FOTOVOLTAICKÝCH PANELECH	9
2.1. VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	9
2.2. KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	11
3. DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	13
3.1. PARAMETRY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	13
3.2. ROZDĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PODLE JEDNOTLIVÝCH GENERACÍ.....	14
3.2.1. Fotovoltaické panely první a druhé generace.....	14
3.2.2. Fotovoltaické panely třetí generace	16
3.3. MOŽNOSTI UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	17
3.3.1. Střešní systémy	17
3.3.2. Fotovoltaické pásy	18
3.3.3. Elektrárny na pozemky	18
4. VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	20
4.1. KLIMATICKÉ VLIVY	20
4.2. TECHNICKÉ PARAMETRY	20
4.2.1. Oblačnost	20
4.2.2. Rozdílné impedance panelů	21
4.2.3. Teplotní vlivy.....	21
4.2.4. Možnost defektu by-pass diody	22
4.2.5. Nerovnoměrný sklon panelů	23
5. EKONOMICKÉ POSOUZENÍ FVE	24
5.1. POŘIZOVACÍ CENA.....	24
5.2. ČASOVÝ VÝVOJ VÝKUPNÍCH CEN EL. ENERGIE	25
5.3. NÁVRATNOST.....	26
5.3.1. Rozdíly výkupních cen	26
5.3.2. Neplátcí DPH, zelený bonus	26
5.3.3. Návratnost velké fotovoltaické elektrárny	27
ZÁVĚR	29
POUŽITÁ LITERATURA	31
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	33

Úvod

V dnešní době se čím dál tím více hovoří o globálním oteplování. S tímto tématem je často spojována snaha o postupné snižování zplodin, které jsou každoročně vypouštěny do ovzduší. Otázka zlepšování životního prostředí tak nastala také v oblasti energetiky, jelikož tepelné elektrárny do ovzduší ročně vypustí obrovské množství CO₂ a dalších škodlivin.

Evropská Unie proto v rámci snižování emisí v ovzduší vydala nařízení, podle kterého musí 20 % z vyrobené elektrické energie v EU pocházet z obnovitelných zdrojů, a to do roku 2020. Toto rozhodnutí lze považovat za jeden z důvodů, proč došlo k tak velkému rozmachu fotovoltaiky také v České republice. Princip fotovoltaických systémů je založen na přeměně sluneční energie na energii elektrickou. Z tohoto důvodu je celá první část této práce věnovaná samotnému světlu, bez něhož by fotovoltaika nemohla fungovat.

Nepostradatelnou součástí celého procesu přeměny sluneční energie je samozřejmě samotný fotovoltaický panel. Fotovoltaické panely musí disponovat velmi dobrými technickými parametry, aby docházelo k co největšímu využití slunečního záření. V dnešní době existuje již několik tzv. generací fotovoltaických panelů, které se postupem času stále vyvíjejí v dokonalejší alternativy. Prioritou je dosáhnout zvýšení účinnosti přeměny energie. V této práci je provedeno porovnání parametrů u základních typů používaných panelů, včetně popisů vhodného využití.

Významnou roli ve vývoji fotovoltaiky v České republice sehrálo období v letech 2006 - 2008, ve kterém se z ní stal díky vysokým výkupním cenám elektřiny, které měly podpořit výrobu z obnovitelných zdrojů, opravdu výhodný podnikatelský záměr. Výkupní ceny elektřiny z fotovoltaických elektráren byly v tomto období nastaveny na tak vysoké částky, že mnohdy investoři nebyli nuceni detailně řešit optimální polohu elektrárny, či nákup špičkových panelů s největší účinností, jelikož i při neoptimálním využití potenciálu dané stavby dosahovali značných zisků.

Výkupní ceny se však postupem času snižovaly. Porovnání vstupních nákladů a doby návratnosti mezi lety největšího rozmachu (2006 - 2008) a momentální situací, je věnovaná celá poslední 5. kapitola.

1. Popis solárního záření

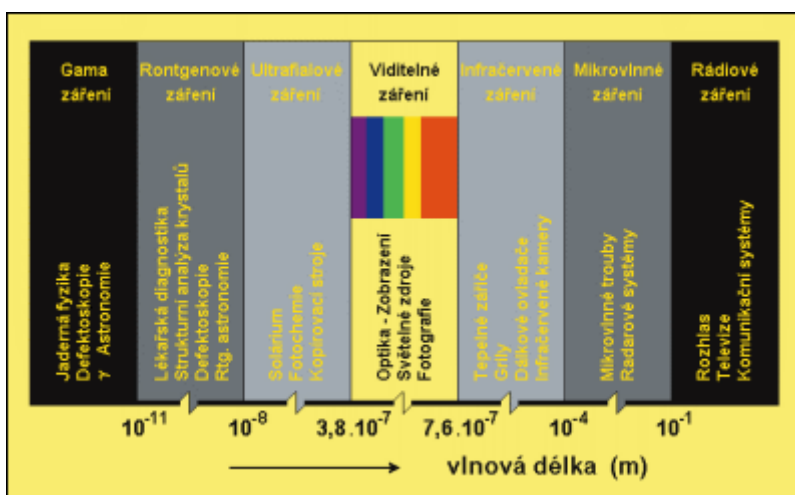
1.1. Vnímání světla

Světlo. Věc, kterou většina lidí vnímá jako samozřejmou součást každodenního života. Málokdo se však zamyslí nad principem světla z hlediska fyziky. Už od starověku se badatelé snažili objasnit některé souvislosti, týkající se optického zobrazování, ale o prvních významnějších poznatcích můžeme hovořit až v období 17. století.

Jedním z prvních řešitelů této problematiky byl Christian Huygens. Ten předložil v roce 1678 pařížské Akademii svou představu světla, v podobě podélného vlnění. Další, i když odlišný názor měl Isaac Newton, který zastával teorii, že světlo je tok částic. Díky faktu, že byl Newton velmi uznávaným fyzikem, byla tato jeho teorie brána jako ta pravá až zhruba do konce 18. století.

Teprve až na počátku 19. století totiž došlo k rozvoji vlnové teorie, která byla podpořena mnoha experimenty, spojenými s interferencí či ohyby. Docházelo již také k vědeckým objevům v oblasti elektřiny a magnetismu a postupnému objasňování této problematiky.

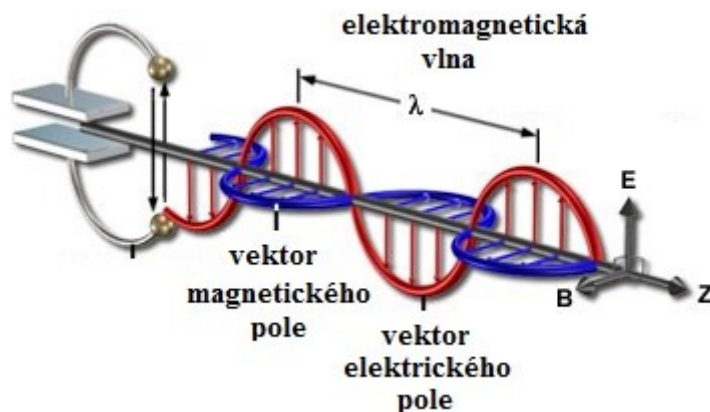
Dnes je již známo, že ve skutečnosti jsou světlo příčné elektromagnetické vlny, které leží v relativně úzkém intervalu vlnových délek, jejichž součástí jsou zároveň fotony. Již zmíněná úzká oblast viditelného elektromagnetického záření (světla) je interval $\lambda \in < 380\text{nm}; 760\text{nm} >$. Všechna spektra, tvořící elektromagnetické vlnění, včetně jejich využití je zřetelné z následujícího obrázku 1.1.



Obrázek. 1.1 - Spektra elektromagnetického záření [1]

Postupem času se přicházelo na vzájemné souvislosti mezi elektřinou a magnetizmem. Rozhodující osobou byl James Clerk Maxwell. Ten shrnul vše, co do té doby o elektřině a magnetismu bylo známo a vyjádřil se ve svých čtyřech rovnicích. Vytvořil tak jednotnou teorii elektromagnetického pole. Z těchto rovnic vyplývá, že časová změna magnetického pole je impulsem pro vznik pole elektrického a naopak. Dále jeho rovnice říkají, že obě pole, jak elektrické, tak

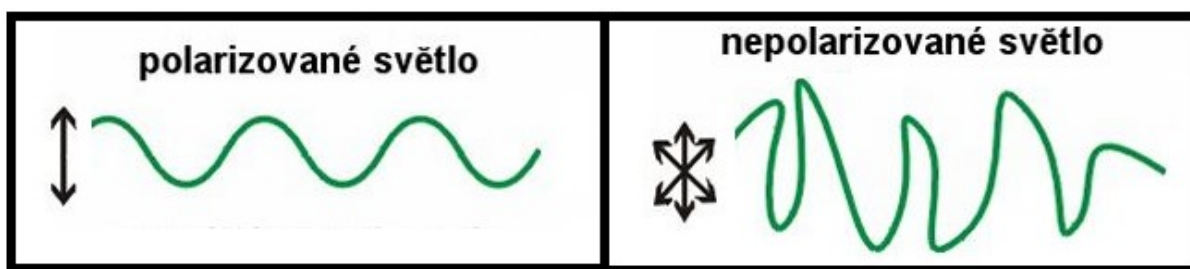
i magnetické se šíří rychlostí světla (c). Tento fakt, že rychlost světla a šíření elektromagnetických vln byla shodná, přivedla Maxwella na myšlenku, že princip světla opravdu souvisí s elektromagnetickými vlnami. K experimentálnímu potvrzení tohoto tvrzení však došlo až mnohem později. [1]



Obrázek 1.2 - Elektromagnetická vlna [7]

Z obrázku 1.2 lze vyčíst, že skutečně časová změna magnetického pole má za důsledek vybuzení pole elektrického a naopak. Vektor intenzity elektrického pole (\vec{E}) a vektor magnetické indukce (\vec{B}) na sebe kmitají v kolmé poloze. Šíření takové postupné elektromagnetické vlny probíhá po vektoru, jehož směr je kolmý k oběma výše uvedeným. Nutno dodat, že se v této souvislosti hovoří o lineárně polarizovaném světle.

V situaci, jestliže by bylo zkoumáno světlo denní, je třeba vzít v potaz, že by tento model nebyl platný. Denní světlo je totiž nepolarizované. Z toho důvodu tedy vektory intenzity elektrického pole (\vec{E}) a vektor magnetické indukce (\vec{B}) mění své orientace.



Obrázek 1.3 - Vektorová rozdílnost polarizovaného a nepolarizovaného světla [12]

Viditelné spektrum leží v opravdu úzkém rozmezí vlnových délek $\lambda \in < 380\text{nm}; 760\text{nm} >$ jak už bylo řečeno, kde každá vlnová délka zastává určitou z barev. Počínaje nejmenší vlnovou délkou (barva fialová), přes barvu modrou, zelenou, žlutou, až k barvě červené. [1] [4]

1.2. Fyzikální podstata světla

Jak již bylo nepřímo řečeno, světlo se chová duálně. Za prvé jako vlny, zároveň však také jako částice.

Z hlediska vlnových délek platí, že čím delší vlnová délka záření, tím se projevuje více vlnový charakter záření, zatímco se snižující se vlnovou délkou narůstá charakter částicový. Energie v elektromagnetické vlně není spojitě rozdělena, ale nachází se v tzv. kvazičásticích. Jako kvazičástice se považuje částice s nulovou klidovou hmotností.

Protože má světlo částečně vlnový charakter, platí pro něj všechny zákonitosti vlnění, jako například zákon odrazu, jevy na olejových vrstvách, či zákon lomu na rozhraní dvou rozdílných prostředí. Z pohledu částicového spadají projevy elektromagnetických vln (tedy také světla) do oboru kvantové mechaniky. Jedná se o tok kvazičástic, které nazýváme fotony. Energie fotonů lze vyjádřit v závislosti na frekvenci dané elektromagnetické vlny. [4] [1]

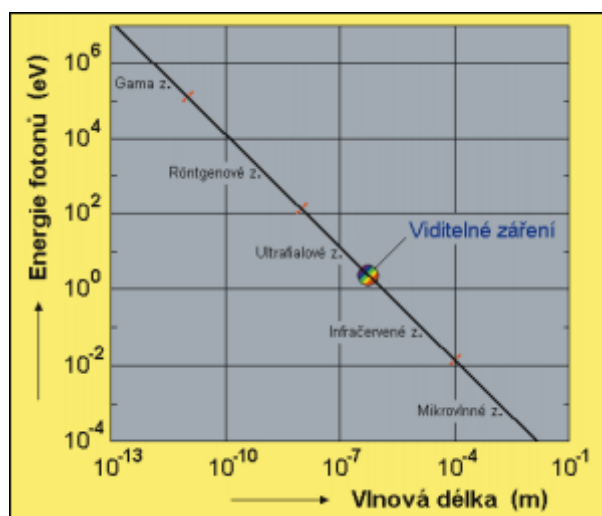
Tento vztah má tvar:

$$E = h \cdot \nu \quad (\text{eV}) \quad (\text{r. 1.1})$$

kde ν představuje frekvenci a h je Planckova konstanta. Platí, že fotony s kratší vlnovou délkou mají větší energii, jelikož platí vztah:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = c \cdot T \quad (\text{nm}) \quad (\text{r. 1.2})$$

který říká, že vlnová délka je nepřímo úměrná frekvenci a přímo úměrná době kmitu.



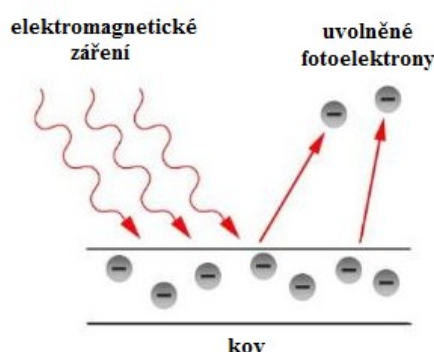
Obrázek 1.4 - Závislost energie fotonů na vlnové délce [1]

Předchozí obrázek 1.4 názorně vystihuje závislost energie fotonů na vlnové délce. Ze znázornění je zřejmé, že energie fotonů viditelného spektra leží v intervalu $E \in < 1,63 \text{ eV}; 3,27 \text{ eV} >$. Důležitým faktem je si uvědomit, jak úzkou část elektromagnetického záření tvoří právě viditelná složka. Energie fotonů je velmi důležitá pro korpuskulární projevy elektromagnetického záření. Nejdůležitější z těchto jevů, z hlediska možnosti využití světla pro výrobu elektrické energie, je fotoelektrický jev. [1] [5]

1.3. Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev v podstatě znamená uvolnění elektronů z látky do okolí, díky absorpci elektromagnetického záření danou látkou. Jako příklad látky, ze které je možno takto získat uvolněné elektrony, lze bez pochyb považovat kovy. Elektrony, které jsou uvolňovány tímto způsobem se nazývají fotoelektrony. Proces samotného uvolňování pak nazýváme fotoelektrická emise (fotoemise).

Fotoelektrický jev lze rozdělit na dvě části. Na část vnitřní a část vnější. Jako vnější fotoelektrický jev považujeme jev, který probíhá na povrchu látky, a kdy se elektrony uvolňují do okolí. Naopak vnitřní fotoelektrický jev probíhá uvnitř dané látky a elektrony se do okolí neuvolňují. Zůstávají v látce jako tzv. elektrony vodivostní. Bylo zjištěno, že při osvětlování některých látek (opět lze uvést kovy), se tyto látky nabíjejí. Například při osvětlování zinku ultrafialovým světlem, došlo ke kladnému nabití. [1] [2]



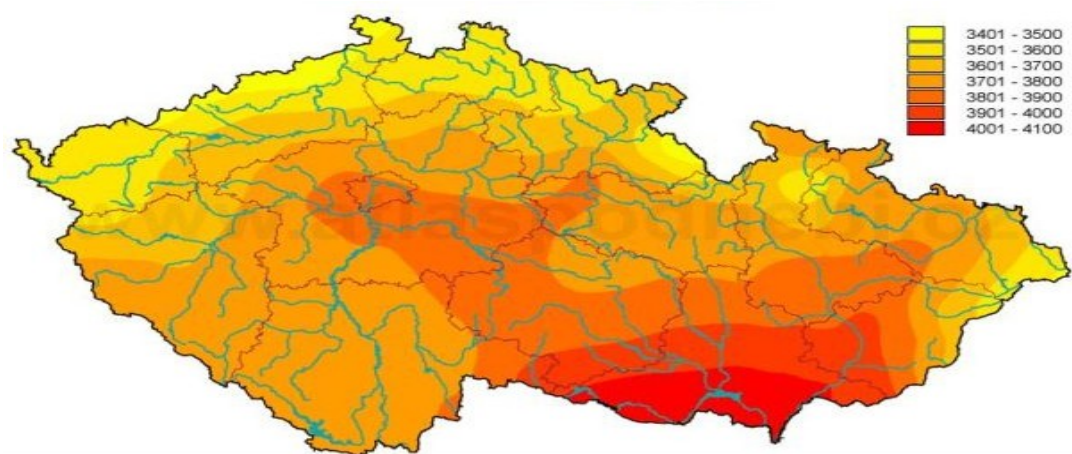
Obrázek 1.5 - Zjednodušený princip fotoelektrického jevu [15]

1.4. Slunce

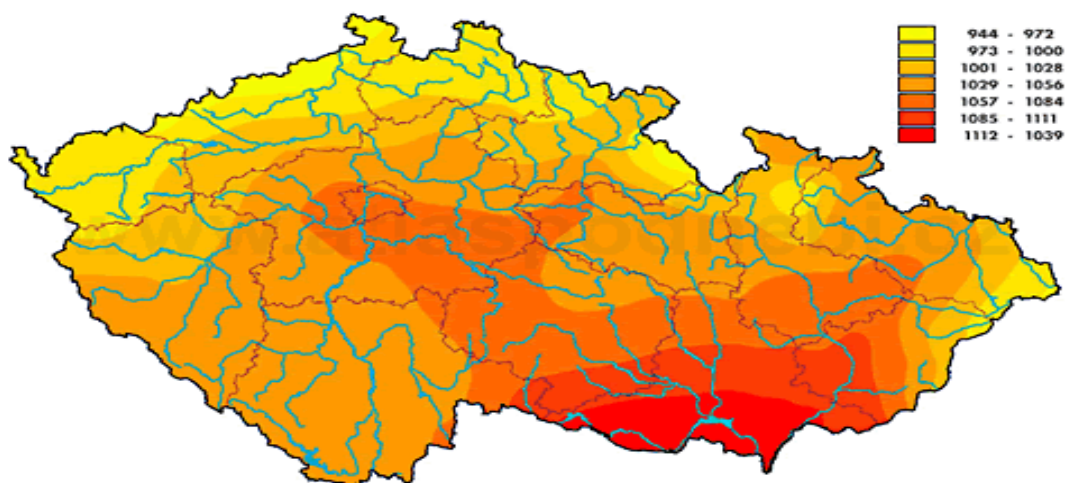
Je jednoznačně největším zdrojem elektromagnetického záření, tepla a světla na Zemi. Naše nejbližší hvězda, která se již před několika miliardami let stala obrovským termonukleárním reaktorem, jehož střední výkon je udáván přibližně jako $P_S \cong 3,91 \cdot 10^{26}$ W. Energie se v jádru Slunce uvolňuje díky termonukleární syntéze jader vodíku na jádra hélia. Zde je velmi zajímavý fakt, že trvá až stovky tisíc let, než se vůbec tato energie dostane na povrch Slunce, odkud se teprve může vyzařovat v podobě elektromagnetického záření a nabitých částic do prostoru.

Na Zemi se ze Slunce uvolňuje elektromagnetické vlnění v podobě ultrafialového, viditelného a infračerveného záření. Nejvyšší podíl dopadajícího záření na povrch Země je ve viditelné části spektra. Tvoří přibližně 45 %. Může to však být až 60 %, je-li obloha zatažená, což je pokládáno za ideální podmínky.

Z hlediska provozu fotovoltaických elektráren, je samozřejmě množství dopadající energie velmi důležitým faktorem. Co se týče České republiky, dopadá na 1 m² vodorovné plochy zhruba 950 - 1340 kWh energie. Velmi důležitá je také doba, po kterou Slunce svítí na povrch během časového intervalu jednoho roku. Z tohoto hlediska se pro ČR udává počet slunečních hodin v rozmezí 1331 - 1844 hodin. [1] [4]

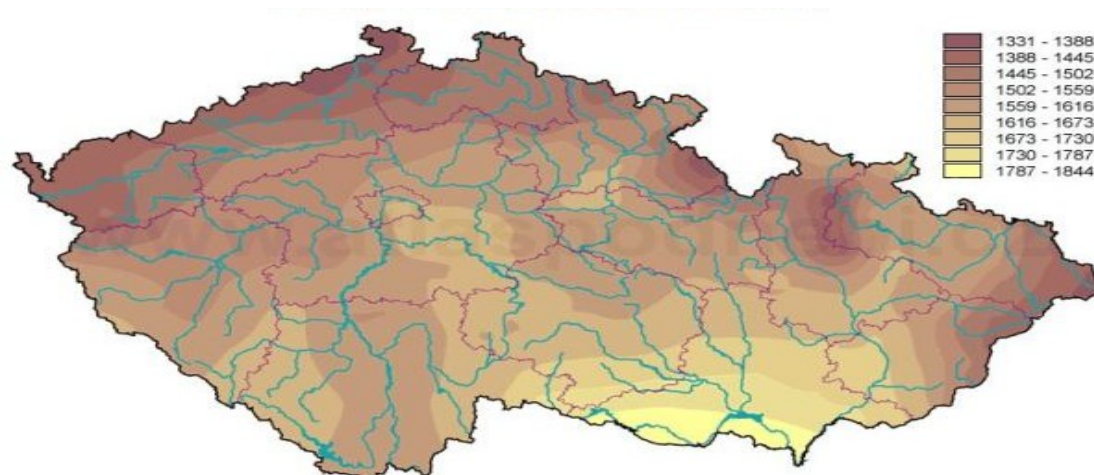


Obrázek 1.6 – Průměrný roční úhrn globálního záření [MJ/m²] [8]

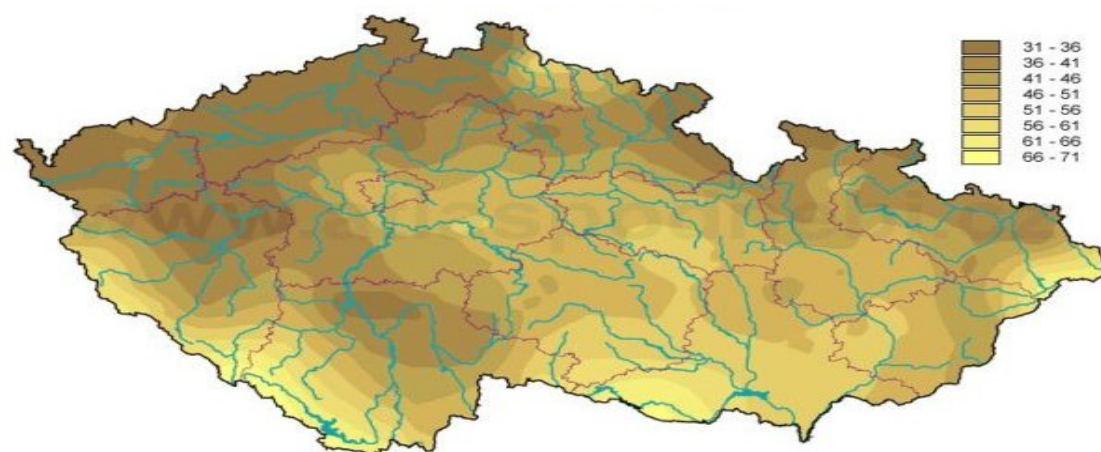


Obrázek 1.7 – Průměrný roční úhrn slunečního záření [kWh/m²] [8]

Z předchozích dvou map vyplývá, že z hlediska jak průměrného ročního úhrnu globálního záření, tak i průměrného ročního úhrnu slunečního záření je na tom nejlépe oblast Jižní Moravy. Naopak nejnižších průměrných hodnot dosahuje oblast Severních a Západních Čech. Tyto hodnoty naznačují, že je Jižní Morava z hlediska slunečního záření nejvhodnější oblastí pro výstavbu fotovoltaických elektráren v rámci České republiky. Parametrů, které dokazují vhodnost umístění fotovoltaické elektrárny v dané lokalitě je však více. Dva z nich jsou zobrazeny na následujících mapách.



Obrázek 1.8 – Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [hod.] [8]



Obrázek 1.9 – Průměrný roční počet jasných dnů [den] [8]

Z mapy na obrázku 1.8 lze vyčíst, že také z hlediska ročního úhrnu doby trvání slunečního svitu, je možno za nejvýhodnější lokalitu v České republice pro stavbu fotovoltaických elektráren považovat Jižní Moravu. Doba trvání slunečního svitu se zde uvádí okolo 1800 hodin ročně, což je zhruba o 450 hodin více než oblast Severo-západních Čech.

Na poslední mapě je znázorněn průměrný roční počet jasných dnů v České republice. Co se týče této statistiky obecně, lze říci, že Česká republika jako celek nedisponuje velkým počtem jasných dnů v porovnání okolních zemí. V rámci České republiky však opět nejlépe v tomto aspektu vychází oblast Jižní Moravy.

2. Teorie výroby elektrické energie ve fotovoltaických panelech

2.1. Výroba fotovoltaických článků

Základním stavebním prvkem všech zařízení, které přeměňují solární energii v energii elektrickou, počínaje malými přístroji o zanedbatelných výkonech, jako je například kalkulačka, až po obrovské fotovoltaické elektrárny o rozloze v řádů desítek hektarů a velikosti instalovaného výkonu několika set kWp, jsou fotovoltaické panely.

Každý takový fotovoltaický panel je dále složen z jednotlivých fotovoltaických článků. V současnosti jsou nejrozšířenějšími články na trhu ty, které využívají křemíkové desky. Panely pracující na této bázi dosahují velmi dobré účinnosti přeměny energie. Bavíme-li se o sériové výrobě, tak zde je účinnost v rozmezí okolo 16 - 19 %, v případě speciální struktury pak účinnost může dosahovat až 24 %. Podrobnější analýza je znázorněna v kapitole 3..

Výroba z křemíku má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří jeho velký výskyt v zemské kůře, dokonce se jedná o druhý nejhojnější zastoupený prvek vůbec, z čehož plyne relativně přijatelná cena a dobrá dostupnost. Dalším jeho plusem je, že jde o nejpoužívanější a zároveň nejlépe prozkoumaný polovodič.

Problémem se pak může jevit na první pohled fakt, že se vyskytuje většinou ve formě oxidu křemičitého (SiO_2), odkud vede dlouhá, složitá a hlavně finančně náročná cesta ke konečnému produktu, kterým jsou jednotlivé vyleštěné křemíkové destičky. [1] [2]



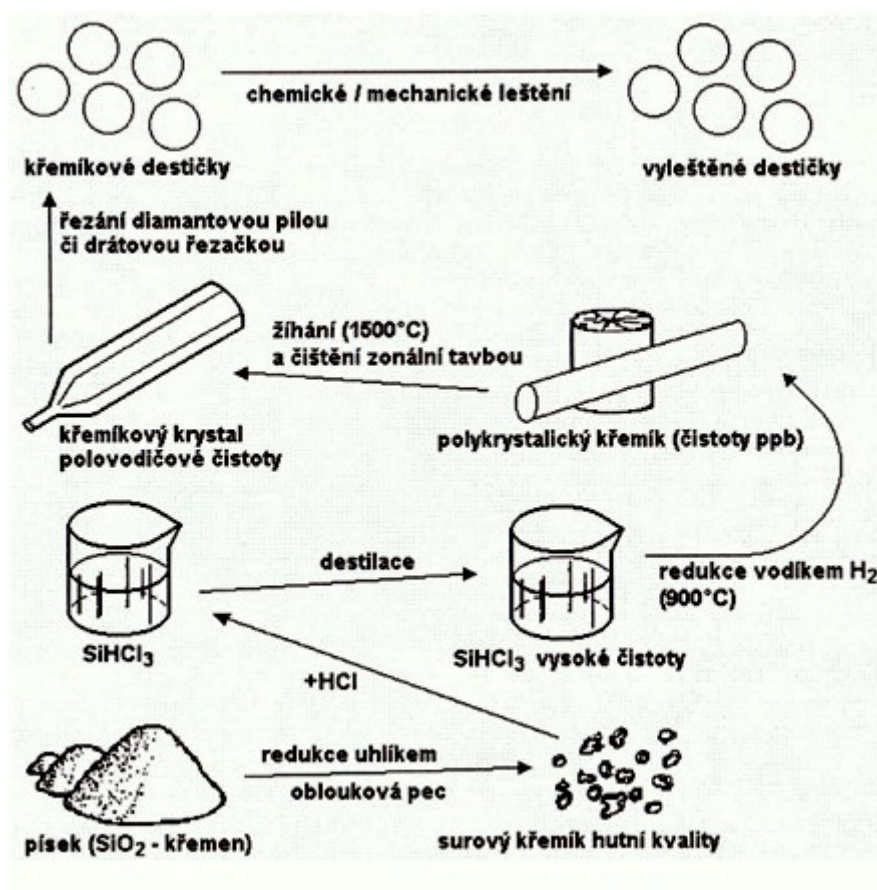
Obrázek 2.1 - Jednotlivé fáze výroby fotovoltaického panelu [4] [18]

Samotná výroba surového křemíku z písku, probíhá pomocí redukce uhlíkem v obloukové peci, ve které dochází k řadě chemických reakcí. Základní rovnice, za předpokladu, že uvažujeme pouze vstupní a výstupní produkty, má tvar:



Takto získaný křemík má čistotu přibližně 99 %, což ovšem nestačí na použití pro polovodič. Je proto třeba zbavit ho nečistot, které převážně tvoří železo, uhlík a hliník. Existuje několik metod, jak docílit požadované čistoty. Jedna z nich je později zobrazena na obrázku 2.2. Jedná se o jednu z nejvíce používanou technologii, a to technologii Simens s chlórovým cyklem.

Postupem této metody, kdy nejprve dojde k převodu na kapalnou fázi, která později projde destilací, lze docílit polotovaru Si o tzv. čistotě ppb (řádově 10^{-9}). Taková to čistota je nutná například při použití v integrovaných obvodech. Tato čistota však není zcela nutná u výroby fotovoltaických článků. U těch se totiž požaduje čistota tzv. ppm (řádově 10^{-6}). [1]



Obrázek 2.2 - Schéma postupu výroby křemíkových destiček [1]

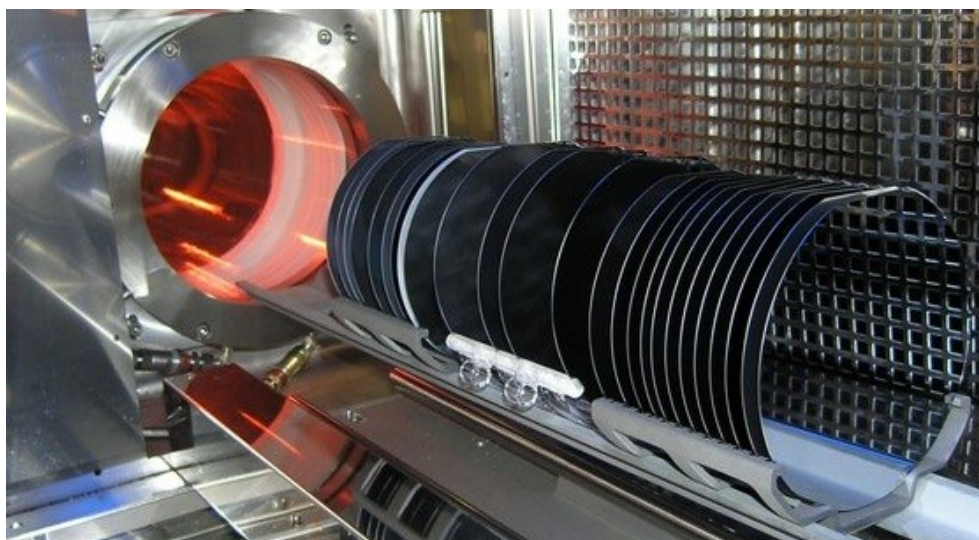
Nutno podotknout, že se v současnosti testují nové metody výroby čistého křemíku, u kterých jsou nižší energetické nároky, což by mohlo vést ke snížení finančních nákladů, a zároveň by tyto metody neměly mít tak velké požadavky na bezpečnost obsluhy, jako nynější chlórový výrobní proces.

Po dokončení čištění vznikají hrušky již čistého křemíku, které je nutno podrobit ještě kontrole elektrického odporu. Případná nižší naměřená rezistivita oproti běžné hodnotě, by signalizovala větší množství nečistot. Proběhne-li testování úspěšně, nastává fáze vytváření polykrystalických, nebo mono-krystalických ingotů.

Z hlediska náročnosti je výroba polykrystalických ingotů jednodušší, než ingotů monokrystalických. Roztavený materiál se nechává přesně definovanou rychlostí chladnout ve formě. Rychlost chladnutí musí být přesně dodržena, aby se tvořila co největší monokrystalické zrna, a vzniklo co nejméně dislokací či pnutí. Všechny poruchy by později mohly způsobovat potenciálové bariéry, které by značně bránily průchodu prostupujícím elektronům při výrobě el. energie.

Monokrystalické ingoty se vyrábí za pomoci tzv. Czochralského metody. Nejprve se materiál roztaví na teplotu 1415 °C. Poté se do této taveniny vloží malý monokrystal, který má funkci zárodku. Tento zárodek se po určité chvíli pomalu z taveniny vytahuje za stálého otáčení kolem své podélné osy.

Takto hotové ingoty, ať už polykrystalické, nebo monokrystalické se po dokončení příčně řezou. Také u samotného řezání ingotů dochází postupem času k vývoji a zdokonalování. Dříve byly minimální šířky řezaných destiček okolo $d=300\text{ }\mu\text{m}$. Dnes, hlavně díky zdokonalené metodě drátové řezačky, je možno řezat destičky se šířkou $d=100\text{ }\mu\text{m}$. Tyto nařezané destičky, již tvoří samotný základ fotovoltaických článků. Konečnou podobu zhotovených křemíkových destiček znázorňuje následující obrázek 2.3. [1] [6] [16]



Obrázek 2.3 - Hotové nařezané křemíkové destičky [16]

2.2. Konstrukce fotovoltaických panelů

Po náročné výrobní proceduře jednotlivých křemíkových destiček, která byla popsána v předchozí kapitole, a následném konstrukčním propojení těchto destiček, vzniká konečný produkt, a to samotný fotovoltaický panel. V tomto případě se tedy bude dále hovořit o fotovoltaických panelech na bázi křemíku.

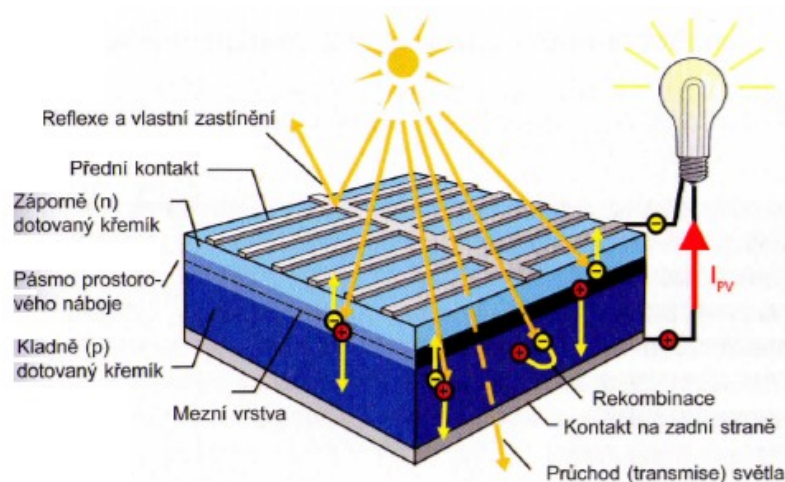
Tento typ je momentálně stále ještě nejrozšířenějším využívaným typem panelu na trhu. Co se týče vyrobeného množství elektrické energie takovýmto fotovoltaickým panelem z hlediska jeho konstrukce, dá se obecně říci, že velikost vyrobeného proudu, je přímo úměrná ploše panelu.

Proto je také výstavba velkých elektráren, které se skládají z tisíců panelů, náročná jak konstrukčně, tak i z hlediska zajištění dostatečně velkého území, které by pro samotnou stavbu bylo vhodné.

Samotný princip fungování fotovoltaického panelu, v tomto případě na bázi křemíku spočívá v tom, že jednotlivé fotovoltaické články pracují na bázi diody. Každý jednotlivý článek se chová jako velkoplošná dioda, která má minimálně jeden PN přechod. Článek berme jako složení dvou křemíkových vrstev, které jsou dotovány opačnými náboji. „Vrchní“ vrstva, čili vrstva obrácena ke Slunci, je dotována záporně (-). Strana „spodní“, která je orientovaná opačným směrem, je dotována kladně (+).

Pro maximální využití potenciálu panelů je také důležité, aby bylo pohlceno co největší množství dopadajícího světla. Tomu napomáhá antireflexní vrstva, která je umísťována na „vrchní stranu“ panelu, aby se minimalizovaly odrazy záření. Panely s větší účinností, které tuto antireflexní vrstvu využívají se tak mohou jevit téměř až černou barvou.

Na následujícím obrázku 2.4 jde zřetelně vidět samotná konstrukce fotovoltaického článku na bázi křemíku. Lze vidět rozložení vrchní a spodní vrstvy panelu, tvořící PN přechod. Je zde naznačena také reflexe a vlastní zastínění, se kterými je potřeba vždy počítat. [1] [2] [4]



Obrázek 2.4 - Konstrukce a znázornění principu přeměny energie v solárním článku [1]

Konstrukčně zajímavou variantou jsou tzv. oboustranné články. Vyznačují se shodnou strukturou na obou stranách článku. Dochází tím ke zvýšení výkonu, jelikož jsou přijímány například i fotony, které se na panel dostanou až případným odrazem od země.

Z hlediska konstrukce a použité technologie (materiálů) při výrobě fotovoltaických panelů je momentálně na trhu již několik alternativ výběru. Podrobnější porovnání jednotlivých typů a generací panelů bude provedeno v kapitole 3..

3. Druhy fotovoltaických panelů

3.1. Parametry fotovoltaických panelů

Správně zvolenou konstrukcí, propojením fotovoltaických článků a přidání ochranných skel, vznikne fotovoltaický panel s výkonem přibližně $130 - 160 \text{ Wp/m}^2$.

Špičkový výkon (Wp) je uvažován při ideálních podmínkách. Za ideální podmínky je považováno, že přímé sluneční světlo, které má intenzitu 1000 W/m^2 dopadá kolmo na panel za teploty 25°C .

Za faktory, které nám ovlivňují konečné množství získané energie považujeme:

- použitá technologie při výrobě fotovoltaických panelů (účinnost)
- intenzita dopadajícího světla (lokalita)
- plocha panelů na kterou dopadá světlo (přímě-úměrně)

Při praktické realizaci je třeba se zaměřit na další parametry, kterými jsou:

Účinnost: Udává množství elektrické energie, které bylo získáno přeměnou energie z dopadajícího světla. Účinnost se uvažuje za předpokladu ideálních podmínek (ty jsou, jak už bylo uvedeno: 1000 W/m^2 , 25°C , AM 1,5). Účinnost je ovlivněna použitou technologií panelů. Výsledek je uváděn v %.

Výkon na plochu: Panely jsou vyráběny v různých rozměrech, podle typu instalace. Jeden ze základních rozměrů je panel $1 \times 1,65 \text{ m}$. Výkon, který je panel o této ploše schopný vyrobit, je závislý na účinnosti tohoto panelu. Proto je důležité správné zvolení typu panelu.

Elektrické parametry: Špičkový výkon (Wp), svorkové napětí a proud. Tyto parametry je nutno znát pro správný návrh systému, či volbu vhodného střídače.

Životnost panelů: Opět záleží na typu panelu a výrobci. Ve většině případů se udává garance výkonu po dobu deseti let, někdy se lze setkat až s garancí na dobu 20 - 25 let.

Cena: Odvíjí se samozřejmě od typu použité technologie fotovoltaických článků, s čím souvisí také doba garantovaného výkonu. Dále má na cenu vliv samotné zpracování panelu: rám, překlenovací diody. Cena se také může zvýšit v případě poskytnutí lepších záruk na panel samotným výrobcem. [2]

Všechny tyto vyjmenované parametry jsou velmi důležitými ukazateli, podle kterých je třeba se řídit při samotném výběru fotovoltaických panelů. V tuto chvíli je na trhu opravdu velká škála nabízených produktů, které se od sebe v jednotlivých parametrech mnohdy značně liší. Samotný výběr se samozřejmě bude odvíjet také od typu následného využití.

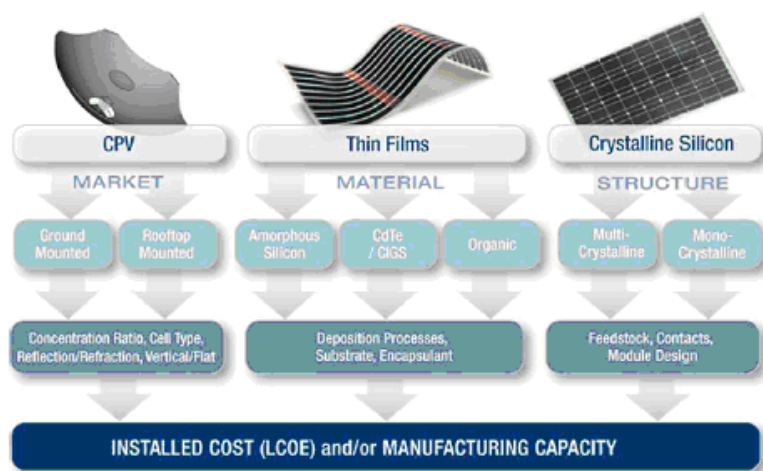
Rozdílné parametry se budou vyžadovat u nákupu panelů na výstavbu velkých fotovoltaických elektráren, oproti nákupu několika kusů panelů například na malý střešní systém. Podrobnější finanční posouzení výstavby fotovoltaické elektrárny bude následovat v 5. kapitole. [1] [2] [5]

3.2. Rozdělení fotovoltaických panelů podle jednotlivých generací

V současnosti se v odvětví fotovoltaiky pracuje se třemi základními generacemi panelů. Momentálně nejvyužívanějšími fotovoltaickými panely na trhu jsou panely tzv. první generace, které pracují na bázi křemíku. Mají však nevýhodu v podobě velkých výrobních nákladů. To je jeden z důvodů proč je momentálně vývoj soustředěn především na články tzv. druhé a třetí generace.

Druhá generace fotovoltaických článků, do které řadíme články tenkovrstvé, opravdu řeší snižování pořizovacích nákladů. U této generace je polovodičová vrstva 100 - 1000 krát tenčí, než u první generace panelů, díky čemuž dochází ke značné úspoře materiálu. Tento fakt je brán jako výhoda oproti první generaci. Pro výrobu těchto článků je navíc možno využít několik typů materiálů. Využívá se buď amorfnní či mikrokrytalický křemík, nebo lze také využít silicon-germania, popřípadě silicon-karbidu. Další alternativou jsou tzv. CIS struktury. Tyto struktury využívají polovodičových materiálů Cu, In, Ga, S, Se. Nevýhodou této generace je účinnost. Ta je totiž výrazně nižší než u generace první. [2]

Třetí generace panelů, do které se řadí články koncentrické a vícevrstvé, je stále ve fázi rozvoje a zdokonalování.



Obrázek 3.1 – Základní tři fotovoltaické aplikace [9]

3.2.1. Fotovoltaické panely první a druhé generace

Jak už bylo řečeno, v současnosti jsou nejrozšířenější technologií na trhu panely první generace, které tvoří (cca 85 %). Panely této generace navíc dosahují velmi dobré účinnosti. V sériové výrobě je to přibližně okolo 18 %, ve speciální struktuře může účinnost dosahovat dokonce až 25 %. Začátek komerčního prodeje těchto panelů se datuje do sedmdesátých let. Fotovoltaické panely se v rámci první generace dále dělí na panely monokrytalické a polykrytalické. [2]

3.2.1.1. Monokrystalické

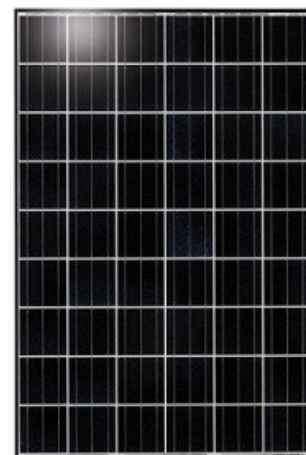
- Jsou ideální volbou pro šikmé střechy, které jsou orientovány na Jih ($5 - 10^\circ$) za pomoci dvouosých polohovacích jednotek-**trackerů**: ty zajišťují zvýšení výkonu na m^2 .
- Současný špičkový výkon panelu je udáván až 315 Wp.
- Tyto panely musí být nezastíněny, jelikož neumí přeměnit difuzní světlo.
- Životnost těchto panelů je okolo 30 let s garancí 90 % výkonu po dobu prvních 10 let a s 80 % garancí výkonu po 25 letech provozu.



Obrázek 3.2-Monokrystalický panel

3.2.1.2. Polykrystalické

- Jejich využití je jak na střechách, tak i na pozemcích.
- Pro dosažení stejného výkonu jako u monokrystalických panelů je třeba mírně větší plocha.
- Mohou být orientovány na různé světové strany (JV, V, Z), protože dokážou přeměňovat i difúzní záření, na rozdíl od monokrystalických panelů.
- Nejvyšší výkon panelu je okolo 260 W.
- Životnost opět okolo 30 let s garancí 90 % výkonu po dobu prvních 10 let a s 80 % garancí výkonu po 25 letech provozu.



Obrázek 3.3-Polykrystalický panel

3.2.1.3. Tenkovrstvé

- Ideální využití pro elektrárny, které nejsou omezeny plochou pozemku.
- Výhodou jsou nižší pořizovací náklady.
- Nejvyšší výkon na instalovaný watt, co se týče dopadu difúzního světla. Výhodné i při špatné orientaci střechy či území s výskytem časté oblačnosti.
- Nejnižší výkon na m^2 . U těchto systémů je třeba počítat s plochou řádově až 2,5 krát vyšší než u elektráren vybavených krystalickými panely.
- Životnost je přibližně 20 let s garancí 90 % výkonu po 10 letech a 80 % garancí výkonu po 15 letech provozu.



Obrázek 3.4-Tenkovrstvý panel

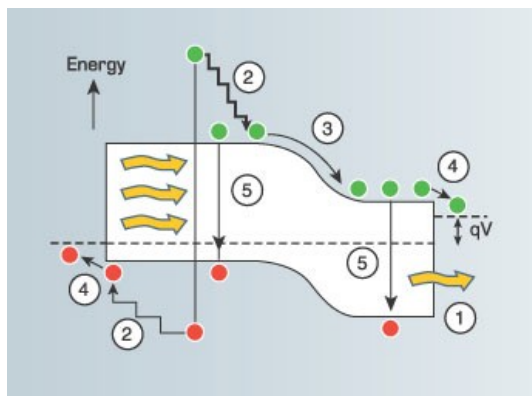
V předchozím porovnání panelů první generace (monokrystalický, polykrystalický) s panely druhé generace (tenkovrstvý) došlo také k vypsání všech základních parametrů a výhod použití jednotlivých typů. Jak již bylo zmíněno, výhodou druhé generace je snížení výrobních nákladů. Jsou tedy finančně dostupnější. Největším pokrokem druhé generace panelů však je fakt, že umí přeměňovat také difuzní záření. Panely první generace totiž umí přeměňovat pouze přímé záření, což je značně omezuje. [2] [4] [5]

3.2.2. Fotovoltaické panely třetí generace

Hlavním cílem u této generace panelů, je především docílit zvýšení jejich účinnosti. Jsou v podstatě dvě možnosti, jak dosáhnout tohoto cíle. Buď to snížením velikosti energie, která je potřebná k uvolnění elektronu, nebo snížení ztrát, jak je ukázáno na obrázku 3.5 Řešení této problematiky vede k rozdělení do tří kategorií:

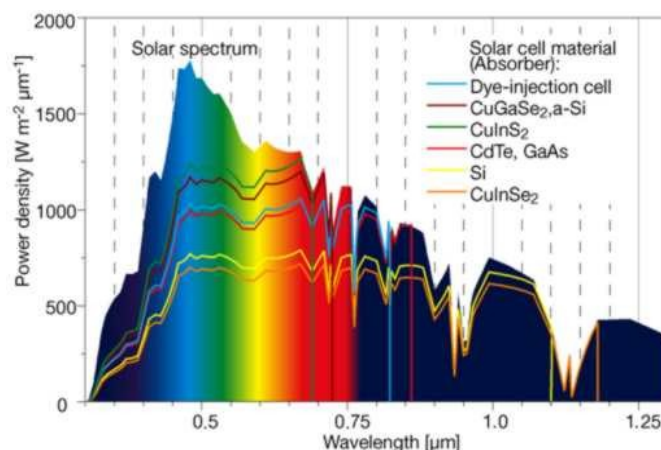
- Zařízení s vícenásobnými energetickými vrstvami.
- Modifikace spektra dopadajícího záření.
- Použití nadměrného množství energie ke zvýšení napětí nebo zvýšení počtu nosičů elektronů.

V současné době se stále na vývoji a zdokonalování této generace panelů pracuje. Co se týče České republiky, v současné době ještě k využívání těchto panelů nedochází, jelikož se jedná o opravdu novou technologii. [2]



Obrázek 3.5 – Procesy ve standardním solárním článku [2]

- (1) zakázaným pásmem nepohlcené fotony; (2) zpomalující mříž;
(3) a (4) styk a ztráta kontaktního napětí; (5) ztráta rekombinace.



Obrázek 3.6 – Materiály solárních buněk při spektrálním slunečním záření [2]

3.3. Možnosti umístění fotovoltaických panelů

3.3.1. Střešní systémy

Střešní systémy jsou nejlepší volbou pro výrobu elektrické energie pro vlastní spotřebu do 15 kWp. Samozřejmě záleží na použitém typu panelu i na samotné střeše. Na každou instalovanou jednotku 1 kWp je nutno počítat u běžné střechy s plochou přibližně 8 - 9 m², bavíme-li se o střeše rovné, zde je dokonce zapotřebí na 1 kWp až 16 m² plochy.

Ideálním případem pro takový to systém je střecha o sklonu mezi 30 – 40 °, která je orientována nejlépe na jih s odklonem okolo 5 ° na západ. Tyto střešní systémy je možno bez větších problémů, instalovat na převážnou většinu všech střech, díky speciálním kovovým příchytým systémům.

Fotovoltaické systémy jsou navrženy dle dané situace a vyráběny na míru. Využívají se jak panely monokrystalické, tak i polykrystalické o výkonech v rozmezí 180 – 250 W s dobou životnosti 25 let. Cena takových to střešních systémů se pohybuje okolo 120 000 Kč/kW. [2] [4] [5]



Obrázek 3.7 – Střešní fotovoltaický systém [13]

3.3.2. Fotovoltaické pásy

Tyto pásy jsou určeny jako přímá krytina střech. Využití je na střechách, které mají sklon do 30 °. Účinnost tohoto systému tvořeného pásy je přibližně okolo 12 %, s čímž souvisí větší plocha pro výrobu 1 kWp. Udává se, že se jedná až o 24 m potřebných pro výrobu 1 kWp. Momentálně se ještě stále jedná o možnost, která není využívána na maximální potenciál. Postupem času se však počítá s jejím rozmachem, s čím by souviselo také snížení pořizovacích nákladů. [2] [4] [5]



Obrázek 3.8 – Fotovoltaické pásy [14]

3.3.3. Elektrárny na pozemky

Elektrárna postavená na pozemku je omezena jen několika faktory, kterými jsou: rozloha a poloha volného pozemku vhodného pro samotnou stavbu. S tím samozřejmě souvisí přípustná velikost investice, kterou je investor ochotný do výstavby investovat. Poloha samotné výstavby je důležitá nejen z hlediska účinnosti výroby, ale také z možnosti připojení se v daném místě do elektrizační soustavy. S tímto krokem souvisí řada povolování a posuzování potřebnosti připojení v daném místě.

Běžně se instalované výkony takto postavených elektráren pohybují mezi 20 kW-3 MW. Přibližné náklady s výstavbou takovéto elektrárny se pohybují okolo 115 000 Kč/kW, je-li řeč o roku výstavby například v roce 2008. Dnes jsou náklady nižší, a to až o desítky procent.

Dalším faktorem ovlivňující jak výkon tak i její cenu je typ upevnění jednotlivých panelů. Záleží zda se investor rozhodne pro pevnou konstrukci (kovovou, či dřevěnou), nebo se rozhodne pro dražší variantu, kterou jsou polohovací systémy (trackery), které jsou schopny zvýšit výkon elektrárny až o více jak 30 %. [2] [4] [5]



Obrázek 3.9 – Fotovoltaická elektrárna na prostranství [19]

Jelikož jsou elektrárny na volných prostranstvích nejrozšířenější a také finančně nejnáročnější formou výstavby v rámci České republiky, zaměřuje se závěrečná kapitola této práce finančnímu vyhodnocení takovéto stavby.

4. Vlivy ovlivňující výrobu elektrické energie z fotovoltaických panelů

4.1. Klimatické vlivy

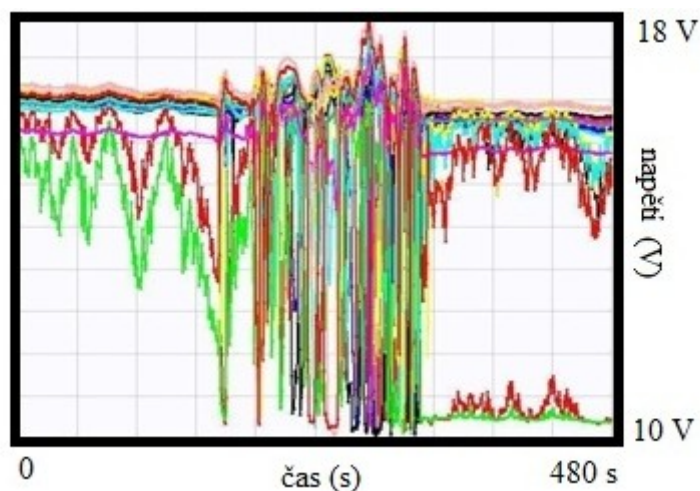
Pro co možná největší využití výkonu fotovoltaické elektrárny, je velmi důležitá poloha. Jak je patrné z obrázků v kapitole 1.4., v podmínkách České republiky je nejlepším místem pro stavbu oblast Jižní Moravy. Tato oblast disponuje největším průměrným ročním úhrnem slunečního záření a taky největším počtem slunečných dnů v roce. Všechny tyto faktory je nutno zkoumat již dopředu před samotným začátkem výstavby, aby investoři měli jistotu, že jejich investice bude dobře zúročena. Vysoko nastavené výkupní ceny elektrické energie však v České republice v posledních letech udělaly z fotovoltaiky tak výhodný obchod, že samotní investoři nebyli nuceni až tak moc dbát na výběr vhodné lokality.

Vysoké výkupní ceny měly v minulých letech za následek, že se fotovoltaické elektrárny začaly stavět na veškerých volných plochách, které byly k dispozici, aniž by se řešilo, zda jsou z hlediska klimatických podmínek vhodné. Důsledkem tohoto dění je, že dnes vidíme fotovoltaické elektrárny i na místech, které pro ně určitě nejsou optimální. Příkladem může být elektrárna se špatnou orientací, nevhodným sklonem, či dokonce částečně zastíněná například stromy. Díky vysoko nastaveným výkupním cenám však i takto nevhodně umístěné elektrárny svým majitelům přinášejí zisk. Od roku 2011 se však na výběr vhodné lokality dbá mnohem více, z důvodu razantního snížení výkupních cen. Až čas ukáže, jaký vliv to u nás na fotovoltaiku bude mít.

4.2. Technické parametry

4.2.1. Oblačnost

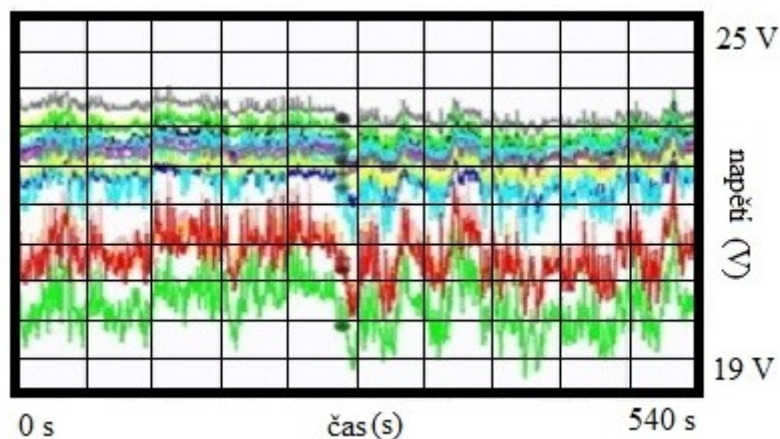
Faktor, který negativně ovlivňuje účinnost panelů je oblačnost. U klasických zapojení, kdy jsou panely řazeny sériově, do tzv. „stringů“ na vstup invertoru, má totiž na výkon značný vliv i přechod mraku po obloze. Během časového úseku, kdy mrak zastíní a opět odstíní jednotlivé panely celého „stringu“, dochází ke znatelnému poklesu výkonu celé série panelů. Jednotlivé křivky v následujícím grafu znázorňují výkyvy napětí u jednotlivých panelů, během náhlé oblačnosti.[11]



Obrázek 4.1 – Pokles napětí během zastínění mrakem [11]

4.2.2. Rozdílné impedance panelů

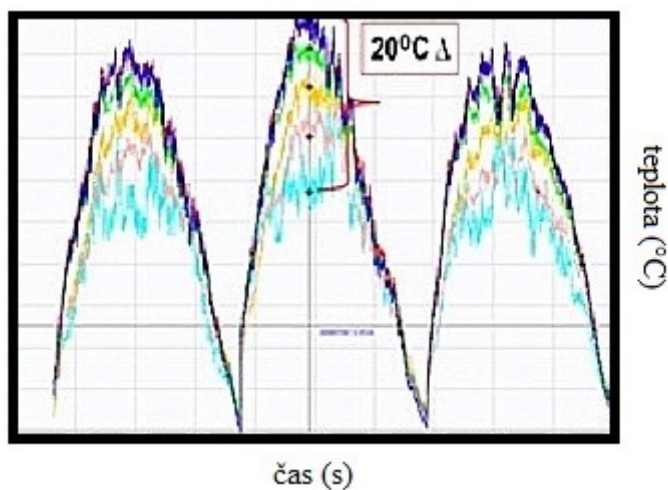
Tímto je myšlená situace, kdy dochází k úbytkům energie vyrobené samotnými fotovoltaickými panely, při přechodu této energie k invertoru. Důvodem tohoto úbytku může být rozdílná impedance u jednotlivých panelů. K omezení těchto rozdílů existuje na trhu mnoho systémů, které tyto stavy optimalizují. Tyto systémy většinou vyhodnocují data z panelů (teplotu, proudy a napětí). Za pomoci těchto načtených dat dochází v připojeném datovém centru k vypočítání optimalizace. Optimalizovaná data jsou poté předána zvlášť do každého modulu. Jednotlivé moduly mají na starosti zajištění virtuálních impedancí tak, aby byl zajištěn co možná největší výstupní výkon. Křivky v grafu, opět znázorňují jednotlivé panely. [11]



Obrázek 4.2 – Průběh optimalizace virtuálními impedancemi [11]

4.2.3. Teplotní vlivy

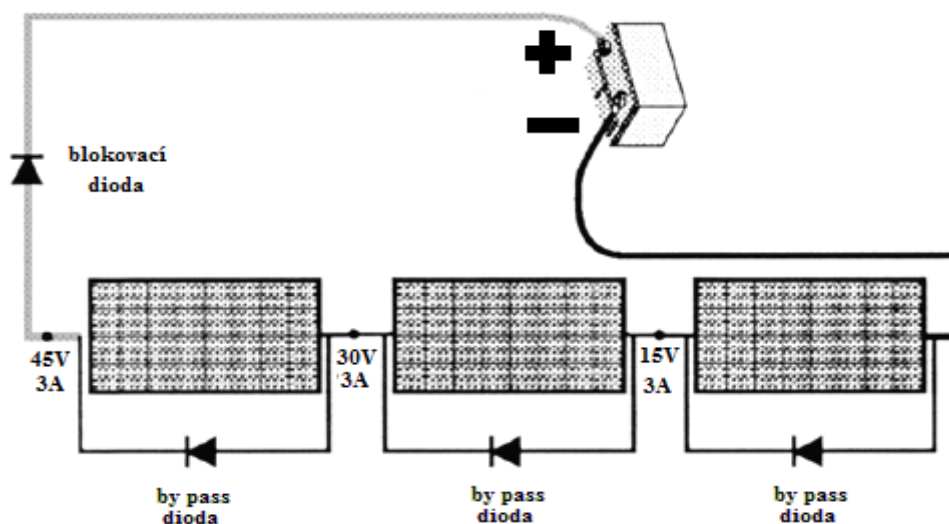
Teplota má na výkon panelu značný vliv. S rostoucí teplotou totiž nastává pokles napětí na jednotlivých článcích v panelech. Důsledkem tohoto poklesu napětí je snížení výstupních výkonů na daných panelech. Teplotní účinky samozřejmě mohou působit v danou chvíli zcela jinak na každý panel. Může tedy nastat i situace, kdy rozdílné výkonové parametry budou mít panely, které jsou zapojeny v jednom „stringu“. Teplotní vlivy se mění každým okamžikem. [11]



Obrázek 4.3 – Ukázka teplotních výkyvů [11]

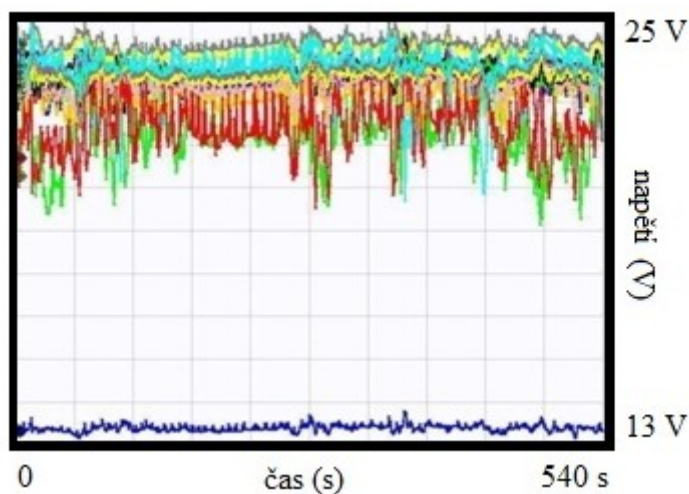
4.2.4. Možnost defektu by-pass diody

Pro lepší znázornění a pochopení principu fungování by pass diod, slouží zjednodušené schéma fotovoltaického systému s by-pass diodami, které je uvedeno na následujícím obrázku 4.4. [11]



Obrázek 4.4 –Schéma zapojení by pass diod [11]

V případě, že dojde k výpadku jedné, či více z by-pass diod, které jsou umístěny na panelu, má to negativní následky jak na výkon samotného panelu, tak na celý „string“, ve kterém je daný panel zapojen. V inkriminovaném panelu totiž díky výpadku dochází k poklesu napětí, s čímž souvisí pokles výkonu panelu. Jelikož jsou panely ve zapojeny sériově, týká se pokles výkonu celého „stringu“. [11]



Obrázek 4.5 – Defekt by-pass diody [11]

4.2.5. Nerovnoměrný sklon panelů

Nerovnoměrný sklon jednotlivých panelů způsobuje tzv. „rozkmitání“ systému, a to převážně v krajních polohách, za což se považují brzké ranní hodiny provozu a také poslední hodiny provozu večer, před západem Slunce.

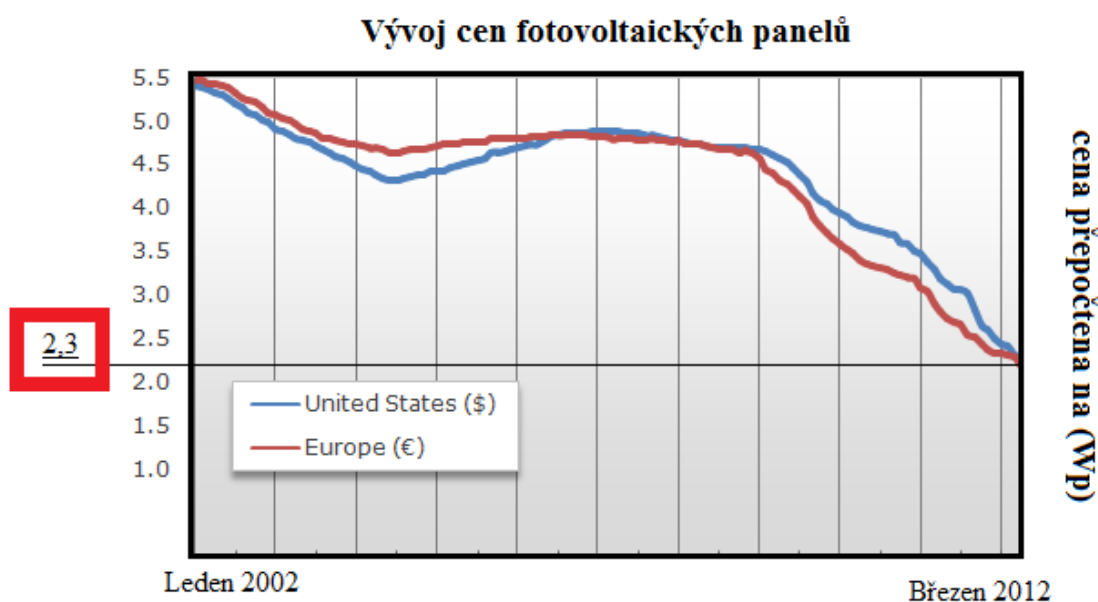
Za nerovnoměrný sklon se už považuje rozdíl 1° a to buď v horizontálním, nebo vertikálním směru. S nerovnoměrným sklonem se lze setkat například u instalace na rovné střeše, kdy je střecha mírně nakloněná z důvodu odtoku vody. [11]

5. Ekonomické posouzení FVE

5.1. Pořizovací cena

Největší položkou z konečné investované částky je vždy cena za samotné fotovoltaické panely. Tvoří okolo 60 % veškerých nákladů. V posledních letech dochází k velmi výrazným poklesům jejich cen. Investiční náklady na fotovoltaickou elektrárnu se však udávají v Kč/Wp. Opět se uvažují standardní podmínky. Z uvedeného grafu, který mapuje cenový vývoj za posledních deset let je patrné, že pořizovací cena klesla více než o polovinu. V roce 2002 byly průměrné náklady v Evropě na 1 Wp zhruba 5,50 €.

V České republice se při tehdejšímu kurzu 31,50 Kč za 1 € muselo tedy počítat s náklady zhruba 173,25 Kč na 1 Wp. V roce 2012 však náklady na 1 Wp klesly na zhruba 2,30 €. Došlo také ke změně kurzu. V dubnu letošního roku je kurz přibližně 24,90 Kč za 1 €. Výsledná cena na výrobu 1 Wp je tedy v roce 2012 průměrně 57,27 Kč. Za deset let tedy náklady klesly o více než 115 Kč/Wp.



Tabulka 5.1. – Ceny investičních nákladů [17]

Konečná cena závisí na mnoha faktorech. Například na samotném způsobu výstavby. Jsou dva způsoby sestavení fotovoltaického systému. První případ je, že si majitel zvolí možnost tzv. (stavebnice), což v praxi znamená, že panely připevňuje na dané místo zcela sám. Je zřejmé, že se bude jednat o úspornější variantu výstavby oproti možnosti tzv. varianty (na klíč). Tzv. varianta na klíč je pohodlnějším řešením pro investora, kdy se o instalaci veškerých fotovoltaických panelů stará renomovaná firma. Investor tedy přebírá již zcela hotový a funkční systém.

Významnou roli v celkové pořizovací ceně z hlediska návratnosti hraje samozřejmě i způsob financování. Nabízí se financování úvěrem, nebo instalace na střeších rodinných domů pomocí stavebního spoření. V této souvislosti je důležitá informace, že při instalaci fotovoltaických panelů na

střechy rodinných domů, které jsou určeny k bydlení, je možnost systém pořídit s 10 % DPH, oproti zbylým způsobům, kde je DPH standardně 20 %.

Zmiňované investiční náklady na fotovoltaickou elektrárnu, které jak už bylo řečeno jsou uváděny v Kč/Wp, však také nutně souvisí se samotným výkonem elektrárny. Čím bude výkon elektrárny větší, tím se investiční náklady na 1 kWp budou snižovat. Například už jen samotný střídač u těchto větších výkonů bude v přepočtu na 1 kWp všech panelů, které jsou k němu připojené levnější.

V roce 2002 se investiční náklady fotovoltaické elektrárny o výkonu 1 kWp pohybovaly okolo 173 000 Kč. Na systém o výkonu 5 kWp byla nutná investice v přibližné výši 796 000 Kč, což znamená náklady 159 200 Kč/kWp. Z tohoto porovnání lze opravdu vidět u většího systému úspora.

V roce 2012 díky poklesu cen, lze počítat s investičními náklady na systém o výkonu 1 kWp okolo 57 300 Kč. Což je obrovský rozdíl oproti roku 2002. Pokud vezmeme v úvahu systém opět o výkonu 5 kWp, cena by se pohybovala přibližně okolo částky 270 000 Kč. Ještě k větším rozdílům v ceně za 1 kWp dochází u největších typů elektráren, které dosahují výkonů v desítkách kWp. U těchto elektráren, lze počítat s přibližnými investičními náklady 51 000 Kč/kWp. Úspora na 1 kWp je tedy oproti malým zařízením značná. [1] [2]

5.2. Časový vývoj výkupních cen el. energie

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6160	5080
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	7650	6570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW do 100 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	6020	4940
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 100 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2011 do 31. prosince 2011	5610	4530
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12750	11670
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2010 do 31. prosince 2010	12650	11570
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13690	12610
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW a uvedený do provozu od 1. ledna 2009 do 31. prosince 2009	13590	12510
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	14590	13510
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14960	13880
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	7130	6050

Tabulka 5.2. – Tabulka výkupních cen a zelených bonusů [10]

Podle předchozí tabulky, ve které jsou uvedeny výkupní ceny pro letošní rok 2012, je jasné vidět, že zisky dvou fotovoltaických elektráren o stejném výkonu, za předpokladu stejných klimatických podmínek se může lišit. Bavíme-li se o situaci v České republice záleží na datu uvedení elektrárny do provozu.

Z aktuálních výkupních cen, které byly pro letošní rok stanoveny Energetickým regulačním úřadem (ERU) lze vyčíst, že nejvyšších zisků mohou dosáhnout ti majitelé fotovoltaických elektráren, kteří své elektrárny uvedli do provozu v období od 1.1.2006 až do 31.12.2008.

Politické rozhodnutí ohledně velikosti výkupních cen v tomto období, udělalo z fotovoltaiky v České republice velmi výhodný byznys. V období kolem roku 2008 navíc ceny fotovoltaických systémů začaly nabírat sestupnou tendenci, což ještě více investorům začalo zvyšovat zisky.

5.3. Návratnost

5.3.1. Rozdíly výkupních cen

Určování výkupních cen elektrické energie z fotovoltaických elektráren, jak už bylo řečeno, má na starosti Energetický regulační úřad. Pro cenu, za kterou je elektrická energie vykupovaná je rozhodující, ve kterém roce byla daná elektrárna uvedena do provozu. Rozdíly jsou opravdu znatelné. Co se týče aktuálních cen vypsanych pro rok 2012, může rozdíl výkupní ceny za 1 kWh dělat až 8 Kč, u tzv. zeleného bonusu to je rozdíl až 9 Kč.

Pro již zmíněné nejvýhodnější období uvedení elektrárny do provozu (1.1.2006 až 31.12.2008), je letošní výkupní cena stanovena na 14,96 Kč/kWh a zelený bonus ve výši 13,88 Kč/kWh.

O proti tomu elektrárny uvedené do provozu v roce 2011 se musí spokojit s výkupní cenou v rozmezí 5,61 - 7,65 Kč/kWh a cenou zeleného bonusu 4,53 - 6,57 Kč/kWh, kdy navíc záleží na velikosti instalovaného výkonu elektrárny. Ke zveřejněné výkupní ceně je potřeba dodat, že je tato cena cenou bez DPH, co se týče plátců DPH a při následném fakturování je připočítáváno 20 % DPH. [1] [2]

5.3.2. Neplátcí DPH, zelený bonus

Týká se případů, kdy si někdo fotovoltaickou elektrárnu pořídí na střechu svého rodinného domu a přitom nepodniká, nebo daný člověk podniká, ale není plátcem DPH. Vezměme si následující příklad. Fotovoltaickou elektrárnu o výkonu 5 kWp. Investiční náklady na elektrárnu o takovém výkonu v roce 2011 činily přibližně 275 000 Kč bez DPH, tj. 330 000 Kč včetně DPH. Počítáno bylo s cenou 55 Kč/Wp bez DPH. Zisk uvažujme zjednodušeně pro výkon elektrárny (5000 kWh).

Cenou za 1 kWp vynásobíme celkové množství vyrobené el. energie. V případě, že budeme uvažovat uvedení do provozu v roce 2011, bude výpočet pro letošní rok v rámci zeleného bonusu vypadat následovně:

$$X = (5000 \cdot 6,57 = \underline{27850 \text{ Kč}}) \quad (\text{r. 5.1})$$

Je počítáno s faktem, že polovinu celkově vyrobené elektřiny v průběhu fungování elektrárny daná domácnost spotřebuje. Standardní cenu odebrané elektrické energie uvažujeme 5 Kč/kWh. V tomto obecném příkladu tedy úspora činí 2500 kWh, což po přepočtu dává úsporu v hodnotě 12 500 Kč. Nesmí se opomenout ještě jeden aspekt, a to valorizace. Aby byl tento postup výpočtu korektní, je třeba předpokládat, že valorizace bude přinejmenším stejně velká jako úbytek účinnosti elektrárny.

V případě, že by valorizace byla vyšší, než úbytek účinnosti panelů fotovoltaické elektrárny, doba splacení by se zkrátila, a naopak. [1] [2]

Samotný výpočet má tedy tvar:

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{pořizovací cena}}{\text{cena za dodanou energii} + \text{úspora za vlastní spotřebu}} = \frac{330000}{27850 + 12500} = 8,2 \text{ let} \quad (\text{r. 5.2})$$

Nyní už je možno takovouto stavbu vyhodnotit z finančního hlediska. U tohoto konkrétního příkladu se elektrárna majiteli splatí přibližně za 8,2 let. Pokud by došlo ke zvýšení spotřeby elektrické energie v této době, návratnost by se ještě o pár měsíců zkrátila. Nicméně má v tomto případě investor jistotu, že dalších 12 let (státem celkem garantován odkup po dobu 20 let) bude elektrárna vytvářet zisk, který určitě pro majitele bude zajímavým příjmem. Podle předpokladů by elektrárna z uvedeného příkladu za 20 let měla vydělat přibližně 807 000,- Kč.

Určitě za zmínku stojí úvaha, co s uvedeným příkladem udělá, když majitel bude plátcem DPH. Odpověď je následující - sníží se mu pořizovací cena o 10 %. Podle stejného vzorce a stejných předpokladů lze spočítat, že by došlo ke zkrácení doby návratnosti na 7,5 roku. Zkrácení doby splatnosti je tedy zhruba o půl roku. Dá se tedy říci, že se v takovém případě vyplatí být plátcem DPH. [1] [2]

5.3.3. Návratnost velké fotovoltaické elektrárny

Následující příklad nám ukáže ještě zřetelněji rozdíly ve výnosech u velkých fotovoltaických elektráren. Je uvažovaná velká fotovoltaická elektrárna s roční výrobou 630 000 kWh, uvedenou do provozu v roce 2008. V té době by výstavba takové elektrárny vyšla podle předchozích vzorců a uvedených nákladů na cca 81 900 000 Kč. Výkupní cena v tomto roce začínaly na velmi lákavé částce 13,43 Kč za 1 kWh s garancí výkupu na 15 let. Výpočet ukazuje, že návratnost investice včetně splacení případného úvěru nastává po zhruba 10 letech. Po dopočtení výsledného výnosu celého období, ve kterém byla elektrárna v provozu, se dostáváme na velmi zajímavý čistý zisk, který přesahuje 40 000 000 Kč.

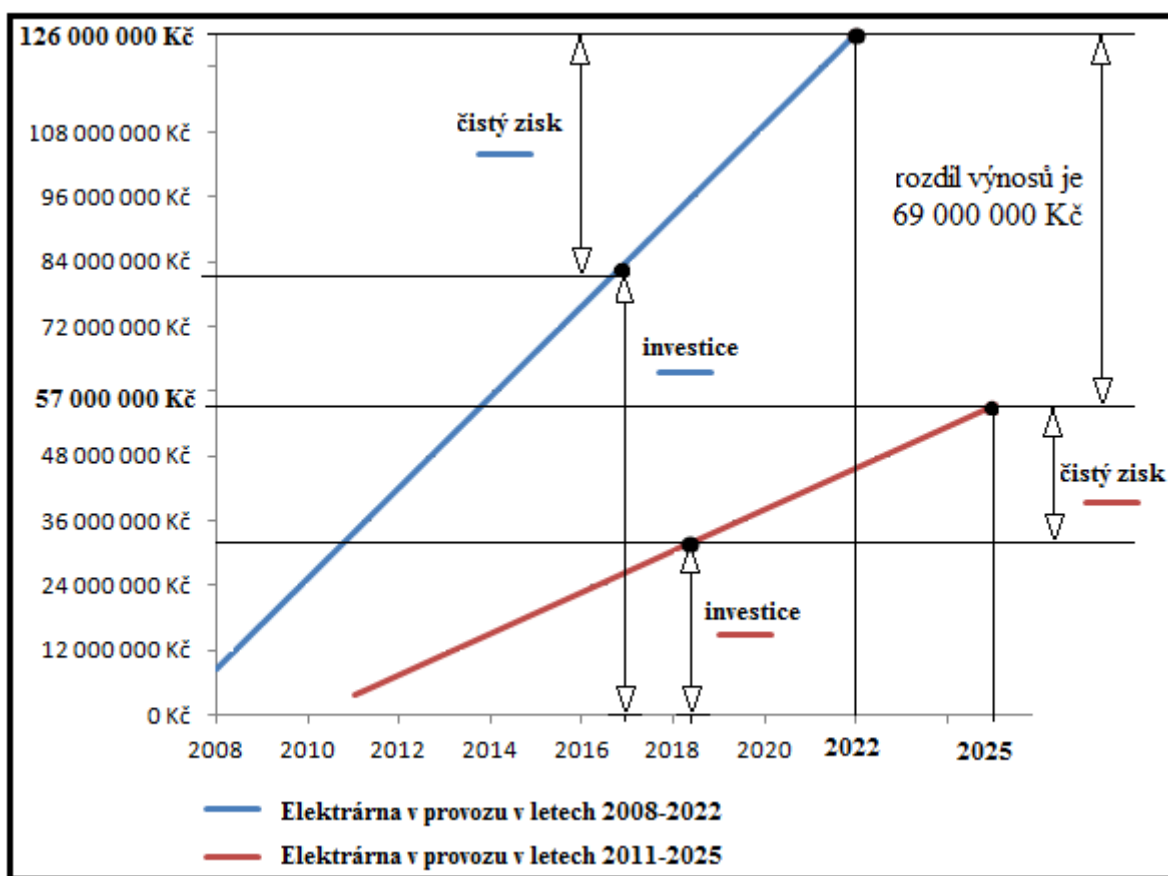
Nyní uvažujeme pro porovnání elektrárnu, která disponuje stejnou roční výrobou, ovšem byla uvedena do provozu v roce 2011, když ještě připojování tak velkých elektráren do sítí bylo povoleno. Investice by se v roce 2011 pohybovala okolo 32 100 000 Kč. To jsou o více než polovinu nižší investiční náklady oproti roku 2008. Výkupní cena však byla pro letošní rok stanovena na 6,16 Kč,

což je značný pokles. V tomto případě by elektrárna za první rok své činnosti vydělala necelé 4 000 000 Kč což je podstatně méně než u předchozí elektrárny, uvedené do provozu v roce 2008.

Při zjednodušených propočtech zjistíme, že vynaložené investice se v tomto případě vlastníkově vrátí po zhruba 8,2 letech. Z hlediska doby splatnosti tedy obě varianty vychází poměrně stejně. Elektrárna uvedená do provozu v roce 2011 se podle výpočtu dokonce splatí o něco rychleji.

Pokud bychom se však zaměřili na celkový výnos, a počítali také s provozem 15 let, dostaneme se na přibližný zisk okolo 25 000 000 Kč. Z hlediska celkového výnosu je tedy varianta výstavby v roce 2008 značně výhodnější.

V následujícím grafu je provedeno detailní znázornění předchozího příkladu. Jsou zaznamenány doby splacení, částky čistých zisků. Zajímavým údajem je opravdu značný rozdíl výnosů u obou, v podstatě „stejných“ fotovoltaických elektráren.



Tabulka 5.3. – Tabulka porovnání výnosů

Díky krokům, kdy už se nepovoluje připojování dalších fotovoltaických elektráren do sítě a pokračujícímu snižování výkupních cen to vypadá, že za období největšího rozmachu fotovoltaických systémů v České republice lze považovat období kolem roku 2008. Jedině změna systémů nastavování výkupních cen a ostatních provozovacích podmínek, může mít za následek změnu současného stavu.

Závěr

Úvodní pasáž této bakalářské práce byla zaměřena na všechny důležité aspekty, které se obecně týkají světla. Po těchto obecných informacích, bylo potřeba se zaměřit konkrétněji na samotné viditelné spektrum. Graf na obrázku 1.1 přehledně znázornil, o jak úzkou oblast vlnových délek v celém spektru elektromagnetického záření se vlastně jedná.

Z tohoto znázornění jasně vyplynulo, na jak limitovaném rozsahu záření je vlastně závislý princip fungování fotovoltaiky. Rovnice (r. 1.1) dále vyjádřila závislost energie fotonů na vlnové délce, což potvrdil také graf na obrázku 1.4. Energii fotonů byla věnována velká pozornost z důvodu, jelikož úzce souvisí s fotoelektrickým jevem, který byl v úvodu práce popsán, jako stěžejní jev umožňující získávat elektrickou energii ze světla.

Je však zapotřebí mít zařízení, které tuto přeměnu energie umí provádět. Fotovoltaický panel. Popis výrobního procesu fotovoltaického panelu na bázi křemíku, který byl podrobně popsán ve 2. kapitole a z části znázorněn na obrázku 2.2, měl za úkol ukázat, o jak velmi dlouhou, a technicky náročnou, několika etapovou proceduru se jedná.

Teprve po rozboru výrobní části mohlo dojít k vysvětlení fungování panelu na principu PN přechodu. Tento rozbor byl navíc doplněn velmi přínosným schématem na obrázku 2.4, které přeměnu znázorňuje graficky.

Typů panelů je však momentálně celá řada. Vlastnosti a parametry byly vypsány u panelů monokrystalických, polykrystalických a tenkovrstvých. Následovalo jejich vzájemné porovnání, které přineslo velmi zajímavé výsledky. U některých ukazatelů, jako například účinnost panelu, byly rozdíly v řádu %. Dále se ukázalo, že každý typ panelu se hodí na rozdílný typ využití..

Monokrystalické panely se převážně využívají na střešní systémy, zatímco panely polykrystalické našly uplatnění také v systémech na volných prostranstvích. Značný rozmach je do budoucna očekáván od panelů vyšších generací. Převážně je očekáváno zvyšování účinnosti.

O samotném množství vyrobené energie však nerozhoduje pouze jen typ využívaného panelu, ale samozřejmě také řada vedlejších vlivů, které byly v této práci rozebrány.

Ukázalo se, že mezi ty nejvýznamnější logicky patří počasí. I jeden procházející mrak přes oblohu dokáže ovlivnit množství vyrobené energie celého „stringu“ panelů jak je zřetelné z časového průběhu na obrázku 4.1.

Počasí však nebylo jediným vlivem zkoumaným v této práci. Jako další negativní vlivy lze vyjmenovat: rozdílné impedance jednotlivých panelů, poruchy by-pass diod, či nerovnoměrný sklon panelů. Účinky těchto vlivů byly taktéž znázorněny v grafech. V kapitole nebylo samozřejmě zapomenuto na uvedení případných řešení těchto nežádoucích vlivů.

Pasáž, která přinesla beze sporu řadu zajímavých výsledků, byla část finančního posouzení samotné výstavby fotovoltaické elektrárny. Velmi zajímavých poznatků bylo dosaženo při porovnání dvou fotovoltaických systémů, které se lišily pouze rokem uvedení do provozu. Při tomto porovnání se ukázalo, že změny výkupních cen, které se každoročně upravují, způsobují značné rozdíly ve výnosech. V porovnání, které bylo provedeno v této práci, se celkové výnosy lišily až dvojnásobně. Zajímavě se však také mění samotné náklady na výstavbu. Veškeré tyto aspekty jsou shrnuty do závěrečné porovnávací tabulky 5.3.

Dle mého názoru, je fotovoltaika alternativním zdrojem elektrické energie, který by se měl do budoucna podporovat. Měli bychom si uvědomit ohromné a nevyužité možnosti našeho největšího zdroje energie, kterým je Slunce. Budoucnost vidím ve zvyšování kvality a účinnosti fotovoltaických technologií a nejen v rozšiřování kvantitativním na pozemcích. Ne všechny přírodní zdroje jsou obnovitelné, některé jsou pouze dobře využitelné. Z fotovoltaiky by se proto neměl opět stát pouze výhodný byznys, jak tomu bylo do roku 2008.

Použitá literatura

- [1] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. Fotovoltaika : Teorie i praxe využití solární energie. Praha : ILSA, 2009. 160 s. ISBN: 978-80-904311-0-2.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. Studie využitelnosti fotovoltaických článků – rozbor parametrů fotovoltaických článků (elektráren) z hlediska účinnosti výroby elektrické energie
- [3] SOKANSKÝ, Karel. Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, 2010
- [4] MURTINGER, Karel; TRUXA, Jan. Solární energie pro váš dům. Brno: ERA group spol. s r.o., 2005. ISBN: 80-7366-029-6.
- [5] BERANOVSKÝ, Jiří; TRUXA, Jan. Alternativní energie pro váš dům. Brno: ERA group spol. s r.o., 2004. ISBN: 80-86517-89-6.
- [6] LOSÍK, Václav; Fotovoltaika-Budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2010. ISBN: 978-80-86167-33-6.
- [7] Elektromagnetická vlna [online]. 2012 [cit. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/polarizedlight/emwave/index.html>>
- [8] Český hydrometeorologický ústav [online]. 2012 [cit. 2012]. Dostupné z WWW: <www.chmu.cz>
- [9] *Multi-Year Programme Plan. U.S. Department of Energy*, April 2008, Solar Energy Technologies Programme (Solar Programme): 2008-2012.
- [10] Výkupní ceny, zelený bonus [online]. 2012 [cit. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.eru.cz/>>
- [11] Vlivy působící na účinnost fotovoltaické elektrárny. [online]. 2012 [cit. 2012]. Dostupné z WWW: <<http://www.sunlux.cz/cs/sluzby/realizace-na-klic/345-ovlivnujici-factory-fve>>

- [12] Polarizované, nepolarizované světlo. Dostupné z WWW:
<http://i.idnes.cz/07/103/cl/JLB1ea119_vlna_polarizovana.jpg>
- [13] Střešní fotovoltaické systémy. Dostupné z WWW:
<<http://www.nazeleno.cz/Files/ResizedImages/obrazky/PR%20clanky/IBC%20Solar/>>
- [14] Fotovoltaické pásy. Dostupné z WWW: <<http://www.coleman.cz/>>
- [15] Fotoelektrický jev. Dostupné z WWW:
<http://images.wikia.com/science/ru/images/7/77/Photoelectric_effect.png>
- [16] Křemíkové ingoty. Dostupné z WWW: <<http://3pol.cz/>>
- [17] Časový vývoj investičních nákladů na 1kWp. [online]. 2012 [cit. 2012]. Dostupné z WWW:
<<http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>>
- [18] Fotovoltaické panely. Dostupné z WWW: <<http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/>>
- [19] Fotovoltaická elektrárna. Dostupné z WWW: <<http://www.ratiko.cz/>>

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek. 1.1 - Spektra elektromagnetického záření [1].....	3
Obrázek 1.2 - Elektromagnetická vlna [7]	4
Obrázek 1.3 - Vektorová rozdílnost polarizovaného a nepolarizovaného světla [12]	4
Obrázek 1.4 - Závislost energie fotonů na vlnové délce [1]	5
Obrázek 1.5 - Zjednodušený princip fotoelektrického jevu [15]	6
Obrázek 1.6 – Průměrný roční úhrn globálního záření [MJ/m^2] [8]	7
Obrázek 1.7 – Průměrný roční úhrn slunečního záření [kWh/m^2] [8]	7
Obrázek 1.8 – Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [hod.] [8].....	8
Obrázek 1.9 – Průměrný roční počet jasných dnů [den] [8].....	8
Obrázek 2.1 - Jednotlivé fáze výroby fotovoltaického panelu [4] [18].....	9
Obrázek 2.2- Schéma postupu výroby křemíkových destiček [1].....	10
Obrázek 2.3 - Hotové nařezané křemíkové destičky [16].....	11
Obrázek 2.4- Konstrukce a znázornění principu přeměny energie v solárním článku [1].....	12
Obrázek 3.1 – Základní tři fotovoltaické aplikace [9].....	14
Obrázek 3.2 - Monokrystalický panel.....	15
Obrázek 3.3 - Polykrystalický panel.....	15
Obrázek 3.4 - Tenkovrstvý panel.....	15
Obrázek 3.5 – Procesy ve standardním solárním článku [2].....	16
Obrázek 3.6 – Materiály solárních buněk při spektrálním slunečním záření [2].....	17
Obrázek 3.7 – Střešní fotovoltaický systém [13].....	17
Obrázek 3.8 – Fotovoltaické pásy [14].....	18
Obrázek 3.9 – Fotovoltaická elektrárna na prostranství [19].....	19
Obrázek 4.1 – Pokles napětí během zastínění mrakem [11].....	20
Obrázek 4.2 – Průběh optimalizace virtuálními impedancemi [11].....	21
Obrázek 4.3 – Ukázka teplotních výkyvů [11].....	21
Obrázek 4.4 –Schéma zapojení by pass diod [11].....	22
Obrázek 4.5 – Defekt by-pass diody [11].....	22
Tabulka 5.1. – Ceny investičních nákladů [17].....	24
Tabulka 5.2. – Tabulka výkupních cen a zelených bonusů [10].....	25
Tabulka 5.3. – Tabulka porovnání výnosů.....	28